

FARKLI ORGANİK VE HİDROLİK YÜKLEMELERDE HAREKETLİ YATAK BİYOFİLM REAKTÖRLERİN (HYBR) PERFORMANSI

Ahmet AYGÜN, Bilgehan NAS

Selçuk Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 42031, KONYA

ÖZET: Hareketli Yatak Biyofilm Reaktör (HYBR)'ler aktif çamur prosesinin bir modifikasyonudur. Proses, sentetik taşıyıcı malzeme ilave edilmiş havalandırma havuzu ve geri devirsiz çökeltme havuzundan oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, HYBR prosesi tanımlanmış, prosesin farklı hidrolik ve organik yüklemelerdeki performansı organik madde ve azot giderimi ile çamur üretimi açısından incelenmiştir. 2 L'lik havalandırma havuzunun boş hacminin % 50'si Kaldnes K1 ile doldurulmuş ve sentetik atıksu ile beslenmiştir. HYBR performansı üzerine hidrolik yüklemenin etkisi 4, 8 ve 12 saat hidrolik alıkonma sürelerinde 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksuyun reaktöre beslenmesi ile, organik yüklemenin etkisi ise 8 saat hidrolik alıkonma süresinde 500, 1000, 2000, 4000, 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksuyun reaktöre beslenmesi ile izlenmiştir. Hidrolik yüklemelerde, 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksuyun arıtımında 4 saat hidrolik alıkonma süresinin ortalama % 94.6 KOİ giderim verimi ile yeterli olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, artan hidrolik alıkonma ile nitrifikasyonda artış gözlenmiştir. Çıkış nitrat azotu sırasıyla 6,12 mg/L, 10,99 mg/L ve 16,6 mg/L olarak ölçülmüştür. Organik yüklemelerde, organik yüklemeye arttıkça organik madde giderimi azalmış, 6 g KOİ/m².gün 'ün üzerinde nitrifikasyon gözlenmemiştir. Ortalama KOİ giderim verimleri organik artan yüklemelerde sırasıyla % 95.1, % 94.9, % 89.3, % 68.7, % 45.2 olarak hesaplanmıştır. Çamur oluşumu, 500 mg/L KOİ girişinde 0.12 kg AKM/kg KOİ olarak elde edilmiş ve artan organik yüklemeye ile artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atıksu Arıtımı, Hareketli Yatak Biyofilm Reaktörler (HYBR), Organik Madde Giderimi, Arıtma Çamuru.

Performance of Moving Bed Biofilm Reactors (MBBR) at Different Organic and Hydraulic Loadings

ABSTRACT: Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) is a modification of activated sludge process. The process has an aeration tank with synthetic carrier element and no sludge recycling from the clarifier. In this study, MBBR process is defined and its performance under different hydraulic and organic loadings was revealed as organic matter removal, nitrogen removal and sludge production. Aeration tank with 2 L volume was filled with the Kaldnes biomedica K1 at 50% of the volume of empty reactor and fed continuously with synthetic wastewater. The effect of hydraulic loadings on MBBR was studied with feeding synthetic wastewater that consist of 500 mgCOD/L at 4, 8 and 12 hours hydraulic retention times whereas the effect of organic loadings on MBBR was studied by feeding synthetic wastewater containing 500, 1000, 2000, 4000 and 5000 mgCOD/L as a function of organic load at 8 hour hydraulic retention time. At the hydraulic loads, 4 hour hydraulic retention time was founded enough for treating wastewater that consist 500 mgCOD/L with 94.6 % average COD removal. However, by increasing hydraulic retention time nitrification increased. Effluent nitrate-nitrogen was measured 6.12 mg/L, 10.99 mg/L ve 16.6 mg/L at 4, 8 and 12 hours, respectively. At the organic loads, when organic loading was increased from 6 to 96 g COD/m².d, organic matter removal decreased. Nitrification became insignificant at organic loading rate of 6 g COD/m².d. Average COD removal at the organic loadings were calculated as 95.1 %, 94.9 %, 89.3 %, 68.7 %, 45.2 % at 6, 12, 24, 48, 96 g COD/m².d organic loadings, respectively. Resultant sludge production was equal to 0.12 kg TSS/kg totalCOD for influent totalCOD of 500 mg/L and increased when organic loading was increased.

Key Words: Wastewater Treatment, Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), Organic Matter Removal, Sludge Production.

GİRİŞ

Aktif çamur prosesi, kolay işletilmesi ve çıkış suyu kalitesinin iyi olması nedeniyle tüm dünyada en yaygın kullanılan biyolojik arıtma prosesidir. Mevcut atıksu arıtma tesislerinde, artan debiye bağlı olarak projelendirmede öngörülen hidrolik alıkonma süresi veya artan kirlilik yüküne bağlı olarak uygun F/M oranı sağlanamadığından, arıtma verimi düşebilmektedir. Bu gibi durumlarda istenilen arıtma verimini sağlamak üzere geliştirilen tekniklerden biri de; aktif çamur sürecinde havalandırma havuzuna sentetik taşıyıcı malzemelerin ilavesidir.

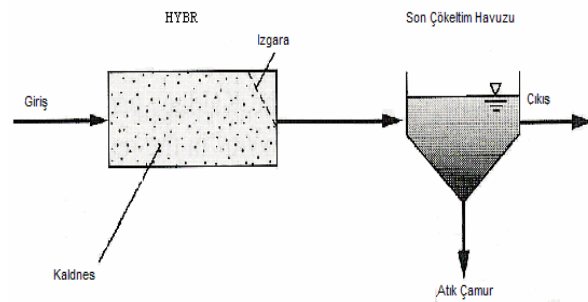
Sentetik taşıyıcı malzemelerin ilavesiyle oluşturulan hibrid sistemde askıda büyümeye ilave olarak bağlı büyüme de gerçekleştirilmektedir. Reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonunun artışı ile arıtma verimi artmaktadır. Ayrıca, arıtma tesislerinde oluşan çamurların uzaklaştırılması atıksu arıtma tesislerinin işletme maliyetinin %50-60'ını oluşturur. Bu nedenle oluşan arıtma çamurunun miktarını azaltmak için aerobik arıtma proseslerinin modifikasyonu oldukça önemlidir (Kulikowska ve diğ., 2007).

Bu tür hibrid sistemlerin ilk tam ölçekli uygulaması, 1975'te Philadelphia'da, biyodiskin aktif çamur havuzuna entegre edilmesiyle oluşturulmuştur (Guarino ve diğ., 1980). Daha sonraki yıllarda, farklı firmalarca üretilen sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılarak tesis iyileştirmesi ve ilave nitrifikasyon hedeflenerek çalışmalar yapılmıştır. Hibrid sistemlerin tesis iyileştirilmesinde uygulanabilir ve ekonomik sonuçlar vermesi ile atıksu arıtımında kullanımı yaygınlaşmıştır.

Hareketli Yatak Biofilm Reaktör (HYBR); 1980'lerin sonlarında İskandinavya'da Kaldnes Miljiteknoloji (KMT) ile Norveç araştırma enstitüsü SINTEF'in işbirliğiyle geliştirilmiş ve bu teknolojiye patent alınmıştır. Şu anda 22 farklı ülkede evsel atıksu ve endüstriyel atıksu arıtımı amacıyla, HYBR teknolojisi kullanılarak inşa edilmiş 400'den fazla atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır (Rusten ve diğ., 2006).

HYBR proseslerinde biofilm büyümesini desteklemek için, havalandırılmış veya havalandırılmamış tankta küçük silindirik şekilli

polietilen taşıyıcı elementler kullanılmaktadır. Aerobik proseslerde taşıyıcı elementler havalandırma ile sirküle edilirken anaerobik proseslerde mekanik karıştırıcılar kullanılmaktadır. Ayrıca küçük sentetik taşıyıcı malzemelerin reaktörde tutulabilmesi amacıyla atıksu çıkışına, kullanılan taşıyıcı malzeme boyutuna göre ızgara konmaktadır. Şekil 1'de HYBR prosesinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. HYBR prosesinin şematik gösterimi.

Figure1. Schematic illustration of MBBR process.

HYBR proseslerinde havalandırma ekipmanları uygun yerleştirilerek organik madde giderimi ve nitrifikasyon için aerobik bölge, denitrifikasyon için ise anoksik bölge oluşturulabilmektedir. Organik madde ve azot giderimi için HYBR prosesi kullanılarak mevcut tesislerde yapılan iyileştirme ve yeni kurulan tesislerde istenilen arıtma verimi elde edilmiştir (Ødegaard ve diğ., 1993; Hem ve diğ., 1994; Orantes ve diğ., 2002; Daude ve Stephenson 2003; Andreottola ve diğ., 2003). Andreottola ve diğ., (2000) KOİ giderimi için hidrolik alıkonma süresinin önemli olduğunu ve 5 saatten daha fazla olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Hibrid sistemlerde farklı sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılabilmektedir. Kullanılan sentetik taşıyıcı malzemelerin şekilleri, ebatları, doluluk oranları, yüzey alanları, özgül ağırlıkları, reaktör içindeki konumları sistem performansını doğrudan etkilemektedir.

HYBR proseslerinin en önemli iki tasarım parametresi; doluluk oranı ve spesifik yüzey alanıdır. Doluluk oranı, toplam reaktör hacminin %30-70 aralığında olmalıdır. Sentetik taşıyıcı malzemelerin reaktörde serbest hareket edebilmesi için doluluk oranının %70'den aşağı olması gerektiği belirtilmiştir (Ødegaard, 2000).

HYBR prosesleri, askıda büyüme ve bağlı büyüme proseslerinin avantajlarının bir araya getirildiği, dezavantajlarının ise minimize edildiği biyolojik arıtma sistemleridir (Sriwiriyarat, 1999). HYBR prosesinin başlıca avantajları; esnek reaktör dizaynı, mevcut tesislerde kolay kapasite artırımı, işletim ve kontrolünün kolay olması, çamur geri döngüsüne gerek olmaması, mevcut durumda çökeltme havuzları üzerine olan katı yüklemesini azaltması, taşıyıcı malzemesinin varlığı ile daha küçük kabarcıklı havalandırma ekipmanı kullanma gereksinimini azaltması, nitrifikasyon bakterileri için gerekli olan yüksek çamur yaşını sağlaması, çamur çökeltme özelliklerini iyileştirmesi, çamur oluşumunu azaltması, taşıyıcı malzemesi kullanılan diğer sistemlere nazaran daha az yük kaybı, geri yıkama gerektirmemesidir. Bunun yanında dezavantajları; iri kabarcıklı havalandırma ekipmanların kullanımı gerektirmesi ve havalandırma ekipmanlarının bakım ihtiyacını arttırmasıdır.

HYBR'ler birçok endüstrinin atıksularının arıtımında başarıyla kullanılmıştır. Süt endüstrisi (Rusten ve diğ., 1992; Andreottola ve diğ., 2002), orman endüstrisi (Dalentoft ve Thulin, 1997), kağıt endüstrisi (Broch-Due ve diğ., 1997), peynir endüstrisi (Rusten ve diğ., 1996), kağıt sanayi (Jahren ve diğ., 2002) atıksularının arıtımında HYBR kullanılmıştır. Bunun beraber evsel atıksu arıtımında (Ødegaard ve diğ., 1993; Orantes ve González-Martinez, 2002), nitrifikasyonda (Rusten ve diğ., 1995; Walender ve diğ., 1997) ve denitrifikasyonda (Rusten ve diğ., 1995; Aspegren ve diğ., 1998; Maurer ve diğ., 2001; Walender ve Mattiasson, 2003) HYBR'lerle araştırmalar yapılmıştır.

Sıcaklık, amonyak konsantrasyonu, çözünmüş oksijen konsantrasyonu ve organik madde yüklemesi, HYBR'deki azot giderimini etkiler. Nitrifikasyonun oluşabilmesi için çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2-3 mg/L'nin üzerinde olmalıdır (Ødegaard ve diğ., 1994). Reaktördeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu 5 mg/L'den 8 mg/L'ye çıkarılarak nitrifikasyon verimi % 70 oranında arttırılabilir (Rusten ve diğ., 2000).

Sentetik taşıyıcı malzeme kullanılarak oluşturulan HYBR prosesi, askıda ve bağlı

büyümenin bir arada gerçekleştirildiği hibrid bir sistemdir. Bu çalışmada HYBR prosesin farklı hidrolik ve organik yükler karşısındaki performansı organik madde giderimi, azot giderimi, çamur oluşum miktarı açısından değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Sentetik taşıyıcı malzeme

Çalışmada kullanılan sentetik taşıyıcı malzeme Kaldnes K1, bu teknolojinin patent sahibi olan Anoxkaldnes firmasından temin edilmiştir. Kullanılan sentetik taşıyıcı malzemenin teknik özellikleri Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Kaldnes K1 sentetik taşıyıcı malzemenin teknik özellikleri.

Table 1. Technical properties of Kaldnes K1 synthetic carrier material.

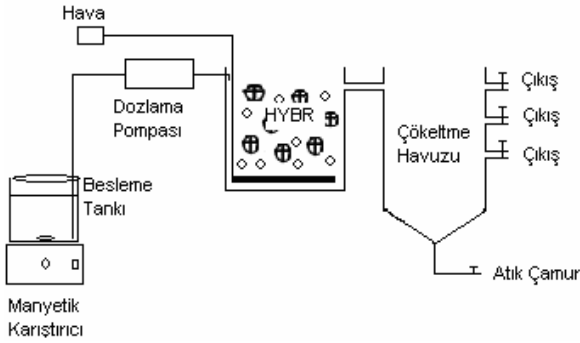
Taşıyıcı malzeme cinsi	Polietilen
Yoğunluk	0,95 g/cm ³
Boyutlar	H= 7 mm, Ø = 10 mm
Korunmuş yüzey alanı	500 m ² /m ³
Toplam yüzey alanı	800 m ² /m ³

Reaktör, % 50 doluluk oranı sağlanacak şekilde 1018 adet Kaldnes K1 sentetik taşıyıcı malzeme ile doldurulmuştur. Çok sayıda pilot ölçekli ve tam ölçekli HYBR uygulamalarında taşıyıcı malzeme üzerinde yapılan araştırmalarda sentetik taşıyıcı elementlerin dış yüzeylerinde hidrolik kesme kuvvetinin etkisiyle biyofilm erozyonu olduğu dolayısıyla sadece korunmuş yüzeylerde (iç yüzey) biyofilmin oluştuğu belirlenmiştir (Rusten ve diğ., 1992). Korunmuş yüzey alanı % 50'lik doluluk oranına bağlı olarak 250 m²/m³ dir.

Laboratuvar ölçekli reaktör ve atıksu

Laboratuvar ölçekli HYBR prosesi, etkin hacmi 2 L olan havalandırma reaktöründen ve 4 saat hidrolik alıkonma süresi farklı yüksekliklere yerleştirilmiş vanalarla sağlanan çökeltme havuzundan oluşmaktadır (Şekil 2). Sentetik

taşıyıcı malzemelerle havalandırma havuzunda daha fazla biyokütlenin bulunması sağlandığından sistemde çamur geri devri yapılmamaktadır. Reaktörde oksijen temini ve karışımın sağlanması amacıyla, değişen organik yüklemelerde ayarlanabilir hava pompası ile hava verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan HYBR düzeneği.
Figure 2. MBBR set-up used in the study.

Çalışmada kullanılan aşı mikroorganizma, Konya Başarakavak atıksu arıtma tesisindeki havalandırma ünitesinden alınmış, laboratuvar şartlarına adapte edilerek kullanılmıştır.

Sentetik atıksu için farklı çalışmalarda çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan sentetik atıksu Ertuğrul ve diğ., (2006)'ün çalışmasında kullandıkları sentetik atıksu ile benzerlik göstermektedir. 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksuyun bileşenleri Çizelge 2'de verilmiştir.

DeneySEL çalışma boyunca sentetik atıksu günlük olarak hazırlanmıştır. KOİ konsantrasyonu 500 mg/L olan sentetik atıksu çözeltisinde pH değeri 7 olarak ölçülmüş ve kullanılan kimyasal madde dozlarından stokiyometrik hesaplamalarla $\text{NH}_4\text{-N}$: 25 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$: 5 mg/L, Alkanite : 345 mg/L CaCO_3 olarak hesaplanmıştır. KOİ / $\text{NH}_4\text{-N}$ / $\text{PO}_4\text{-P}$ oranı 100 / 5 / 1 olarak bulunmuştur. Daha yüksek KOİ içeren sentetik atıksu çözeltileri de aynı molar oranı sağlanacak şekilde hazırlanmıştır.

Sentetik taşıyıcı malzeme üzerinde biyokütlenin oluşması için 4 haftalık başlangıç periyodu belirlenmiştir. Daha sonra analizlere başlanmıştır. Organik ve hidrolik yükleme değişikliklerinde sistemin kararlı konuma gelmesi için en az bir hafta beklenmiştir. Karaklı

konum, biyolojik arıtma sistemlerinde çıkış suyunda bir kirletici konsantrasyonu (organik madde, nitrifikasyon v.b.) açısından çok fazla değişikliklerin olmadığı veya nisbeten sabit bir değere ulaşılan konum olarak tarif edilir. HYBR'de çözülmüş oksijen konsantrasyonu 0.3 ile 3.1 mg $\text{O}_2\text{/L}$ arasında yapılan yüklemeye bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Sıcaklık ve pH değerleri sırasıyla 18.4 ile 23.6 °C, 6.72 ile 7.88 arasında değişiklik göstermiştir. Çizelge 3'te deneysel çalışmalardaki işletme şartları özetlenmiştir.

Çizelge 2. 500 mg/L KOİ içeren 1 L sentetik atıksuyun bileşenleri.

Table 2. Composition of 1 L synthetic wastewater that contains 500 mgCOD/L.

Kimyasal Madde	Miktar (mg)
Glikoz	258
Sodyum Asetat	471
NH_4Cl	95,5
KH_2PO_4	22
NaHCO_3	295
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	100
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	50

Analiz Yöntemleri

HYBR prosesinin performansını ölçmek için biyofilm reaktörünün içinden ve çıkış suyundan numuneler alınmıştır. KOİ, TKM, TUKM, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, Çözülmüş Oksijen ve pH günlük olarak izlenmiştir.

TKM ve TUKM analizleri Andreottola ve diğ. (2003)' de belirtilen şekilde, 10 adet sentetik taşıyıcı malzemenin reaktörden alınıp mekanik işlemlerle üstündeki biyokütlenin hacmi bilinen suya aktarılması ile gerçekleştirilmiştir. Biyofilm yaşı (Plattes ve diğ. 2006) da belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

pH, sıcaklık ve çözülmüş oksijen ölçümleri WTW Multiparameter 340i cihazı ile yapılmıştır. $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ ölçümleri Thermo Orion 710A cihazı ile standart metodlardaki 4500 $\text{NO}_3\text{-N}$ ve 4500 $\text{NH}_3\text{-N}$ e göre yapılmıştır (APHA, 2005). KOİ standart metodlardaki 5220 C ile, TKM analizleri 2540 B'ye TUKM analizleri 2540 E'ye göre yapılmıştır.(APHA, 2005).

Çizelge 3. Deneysel çalışma boyunca işletme şartları.
Table 3. Operation of conditions in the experimental studies.

	Hidrolik Yükleme				Organik Yükleme			
	500	500	500	500	1000	2000	4000	8000
Giriş KOİ (mg/L)	500	500	500	500	1000	2000	4000	8000
Giriş NH ₄ -N (mg/L)	25	25	25	25	50	100	200	400
Hidrolik alıkonma süresi (sa)	4	8	12	8	8	8	8	8
Hacimsel organik yükleme (kg KOİ/ m ³ .gün)	3	1.5	1	1.5	3	6	12	24
Yüzeysel organik yükleme (g KOİ/ m ² .gün)	12	6	4	6	12	24	48	96
TAKM (kg/m ³)	3.66	3.34	2.72	2.34	2.49	2.75	3.23	3.28
TUKM (kg/m ³)	2.63	2.43	2.10	1.73	1.89	2.10	2.46	2.39
Biyofilm yaşı (gün)	3.38	19.6	34	13.3	2.2	1.4	0.9	0.5
Hava (ml/dak)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.8	1.8	2.3
Çözünmüş oksijen (mg/L)	3.1	3.00	3.03	3.00	2.83	2.53	0.84	0.3
İşletme süresi (gün)	18	15	6	15	10	14	13	10

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Hidrolik yüklemeler

Hidrolik yüklemelerin etkisinin incelendiği deneylerde, 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksuyun arıtımında, artan hidrolik alıkonma süresi ile KOİ giderim veriminde önemli bir artış gözlenmemiştir. 4 saat hidrolik alıkonma süresinde en yüksek hacimsel ve yüzeysel organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış ortalama KOİ değeri % 94,6 verimle 26,9 mg/L olarak hesaplanmıştır. 8 saat hidrolik alıkonma süresinde çökeltme havuzu çıkış ortalama KOİ değeri % 95,1 verimle 24,5 mg/L iken, en yüksek verimin elde edildiği 12 saat hidrolik alıkonma süresinde çökeltme havuzu çıkış ortalama KOİ değeri % 95,4 verimle 23,3 mg/L olarak hesaplanmıştır.

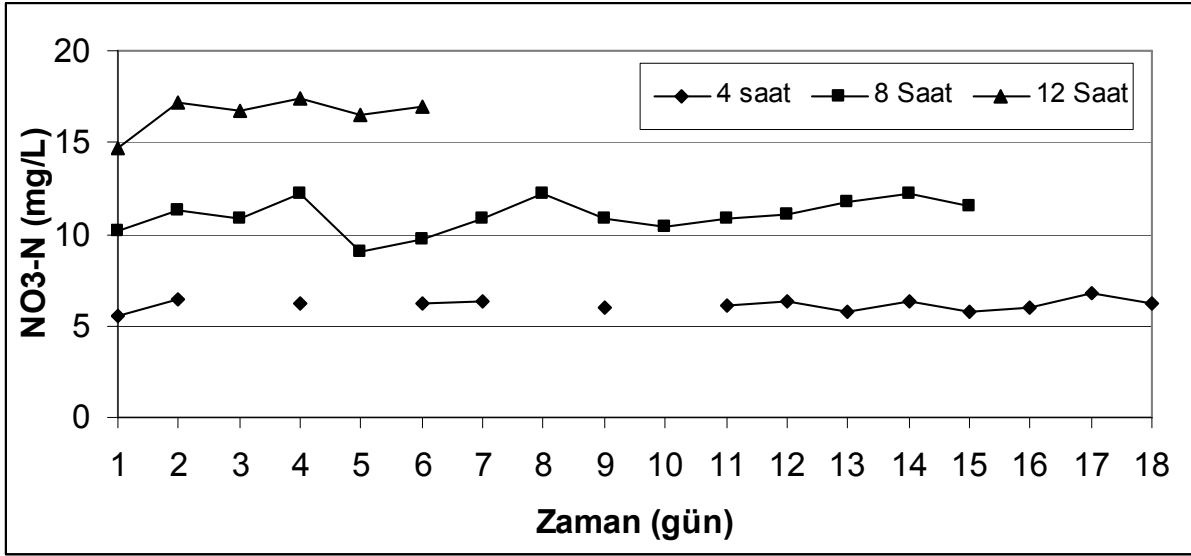
Bu KOİ giderim verimleri gerçek ölçekli atıksu arıtma tesislerinde değerlendirildiğinde, 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksuyun arıtımında hidrolik alıkonma süresinin artması ile aktif çamur ve çökeltim havuzu hacimlerinin ve buna bağlı olarak ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin artacağı düşünülmüşse, 4 saat hidrolik alıkonma süresi yeterlidir.

Nitrifikasyona sıcaklık, amonyum konsantrasyonu, çözünmüş oksijen konsantrasyonu, alkalinite, çözünmüş biyolojik

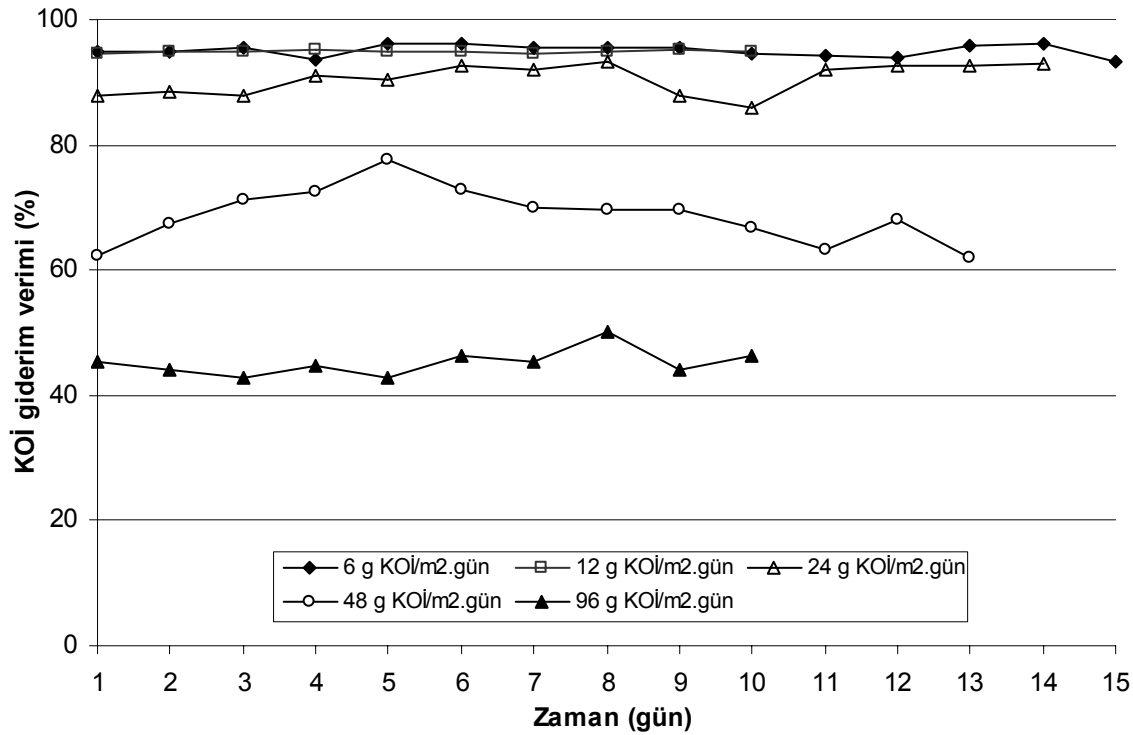
olarak parçalanabilen organik madde içeriği etki etmektedir. Laboratuarda oda sıcaklığında gerçekleştirilen hidrolik yüklemelerde, sistem 500 mg/L KOİ, 25 mg/L NH₄-N amonyum azotu, 345 mg/L alkalinite içeren sentetik atıksu ile beslenmiştir. Şekil 3'ten de görüldüğü üzere azalan organik yükleme ile çıkış nitrat azotu konsantrasyonu artmıştır.

Organik yüklemeler

Laboratuarda normal işletme koşullarından farklı olarak artan organik yüklemeler altında, sistemin organik madde giderim verimi ve organik madde giderimi ile gözlenen biyokütle dönüşüm oranı arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Deneysel çalışmada HYBR'e 5 farklı organik yükleme uygulanmıştır. Şekil 4'te çıkış KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderim veriminin zamanla değişimi verilmiştir. En yüksek verimin elde edildiği, 6 gKOİ/m².gün'e eşdeğer en düşük organik yüklemelerde ortalama çıkış KOİ değeri 24,5 mg/L ve ortalama KOİ giderim verimi % 95,1 olarak hesaplanmıştır. 12, 24, 48 ve 96 g KOİ/m².gün organik yüklemelerine eş değer 2 000 mg/L, 4 000 mg/L ve 8 000 mg/L KOİ içeren atıksuyun arıtımında sırasıyla ortalama çıkış KOİ değerleri 50,8, 213, 1253, 4381 mg/L iken ortalama KOİ giderim verimleri sırasıyla % 94,9, % 89,3, %68,7, %45,2'dir.



Şekil 3. Farklı hidrolük alıkönma sürelerinde çıkış nitrat azotu değeri.
Figure 3. Effluent nitrate nitrogen values at different hydraulic retention time.



Şekil 4. Farklı organik yüklemelerde KOİ giderim verimleri.
Figure 4. COD removal at different organic loadings.

Reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2 saat aralıklarla izlenmiş ve günlük ortalama değerler hesaplanmıştır.

HYBR'de ortalama çözünmüş oksijen değeri giriş organik yüklemeye bağlı olarak 3.1 mg/L ile 0.3 mg/L arasında değişmiştir. Artan organik

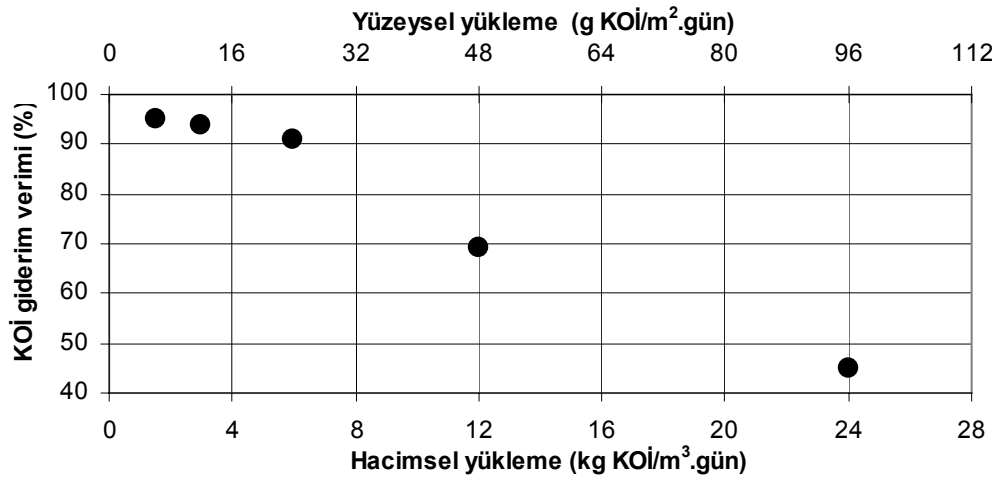
yüklemelelerde hava miktarının arttırılmasına karşın, HYBR'de çözünmüş oksijen konsantrasyonunu azalmıştır. Düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu özellikle 48 ve 96 g KOİ/m².gün organik yüklemelerde KOİ giderim verimini etkilemiş olabilir.

Şekil 5'te hacimsel ve yüzeysel organik yüklemeler karşısında KOİ giderim verimleri görülmektedir. 1.5 ile 6 kg KOİ/m³.gün arasında hacimsel yükleme yapılan HYBR'de klasik sistemlerle kıyaslandığında yüksek verim elde edilmesine karşın en yüksek yükleme olan 24 kg KOİ/m³.gün'de KOİ giderim veriminde % 45.2 ile önemli düşüş meydana gelmiştir.

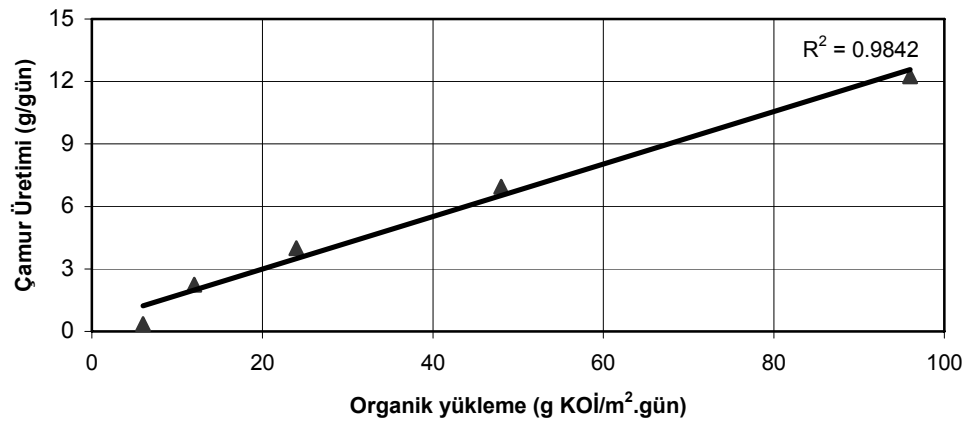
Nitrifikasyon, artan organik yüklemeler ile azalmıştır. Sadece en düşük organik yüklemelerde nitrifikasyon gözlenmiştir. 6 g KOİ/m².gün

yüzeysel organik yükleme oranı aşıldığında nitrifikasyon yetersiz hale gelmiştir. Çökeltme havuzu çıkış ortalama nitrat değerleri 6, 12 ve 24 g KOİ/m².gün organik yüklemelerinde sırasıyla 11, 1,85 ve 0,85 mg NO₃-N /L olarak gözlenmiştir. Hem ve diğ. (1994) yaptıkları çalışmada 5 g BOİ₅/ m².gün'den fazla organik yüklemelerde nitrifikasyonun inhibe olduğunu belirtmiştir.

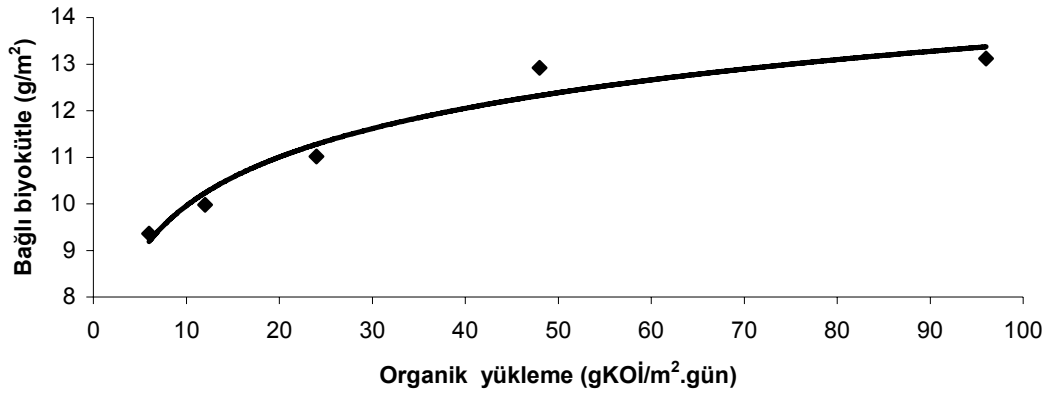
En yüksek organik yüklemelerde 12.25 gTKM/gün olan çamur üretimi, en düşük organik yüklemelerde 0.35 gTKM/gün olarak belirlenmiştir. Şekil 6'da organik yükleme ile çamur oluşumu arasında lineer bir bağlantı bulunmuştur. Sistemde çamur üretimi (R²=0,9842) Orantes ve Martinez (2002) nin yaptıkları çalışma ile benzerlik göstermiştir.



Şekil 5. Artan organik yüklemeler ile KOİ giderim veriminin değişimi.
Figure 5. Change of COD removal efficiency with increased organic loadings.



Şekil 6. Organik yüklemeler karşısında çamur üretimi.
Figure 6. Sludge productions against organic loadings.



Şekil 7. Organik yüklemeye karşı bağlı biyokütle miktarı.

Figure 7. Amount of biomass versus organic load.

HYBR’de sentetik taşıyıcı malzemeler üzerinde bağlı biyokütle, organik yüklemenin artışı ile 9.36’dan 13.12 g TKM/m² ‘ye artmıştır. Sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki UKM/TKM oranı % 69-80 arasında değişmiştir. Şekil 7’de organik yüklemeye karşı bağlı biyokütlenin değişimi görülmektedir.

Biyokütle dönüşüm katsayısı Y , giriş atıksuyundaki KOİ’nin ne kadar biyokütle oluşturduğunu gösterir. Y değerinin düşük olması istenir. Y , sistemden atılan çamur miktarının ölçüsü olduğundan daha az çamur oluşumu arıtma tesislerinin işletim maliyetlerini önemli ölçüde azaltacaktır. HYBR’de Y katsayısı, giriş ve çıkış KOİ değerleri ile çökeltme havuzu çıkışında biyokütle oluşumu ölçülerek hesaplanmıştır. 2.85 g KOİ/gün’e eşdeğer 500 mg/L KOİ’nin kullanıldığı organik yüklemeye çökeltme havuzu çıkışında 0.35 g TKM/gün biyokütle oluşmuş ve Y katsayısı, 0.12 kg TKM / kg KOİ olarak hesaplanmıştır. Klasik aktif çamur sistemlerinde Y değeri yaklaşık 0.5 kg TKM/ kg KOİ’dir. (Metcalf & Eddy, 2003). HYBR sisteminde Y değeri, klasik aktif çamur sistemlerinden daha düşüktür. Benzer şekilde her yüklemeye için Y değerleri hesaplanmıştır. 500 mg/L, 1000 mg/L, 2000 mg/L, 4000 mg/L ve 8000 mg/L giriş KOİ değerleri için sırasıyla Y katsayıları; 0.12, 0.39, 0.37, 0.42, 0.56 kg TKM / kg KOİ’dir.

Orantes ve Martinez (2002) yaptıkları çalışmada, 2 ve 35 g KOİ/ m².gün organik yüklemelerde sırasıyla, 0.12 ve 0.40 kg TKM / kg KOİ Y katsayısı değerleri bulmuşlardır. Rusten

ve diğ. (1994) yaptığı çalışmada Y değerini 0.36 kg TKM / kg KOİ olarak hesaplamışlardır.

Sentetik taşıyıcı malzemeler üzerinde biyokütlenin ortalama alıkonma süresi, askıda büyümenin olduğu diğer sistemlerden farklıdır. Bu olgu biyofilm sistemlerinin karakteristik özelliği olarak bilinir ve partiküler organik maddenin hidrolizinde önemli rol oynar (Morgenroth ve diğ., 2002).

DEĞERLENDİRME

Günümüzde en çok kullanılan biyolojik arıtma metodlarından birisi aktif çamur prosesidir. Artan organik ve hidrolik yüklemeler nedeniyle iyi işletilemeyen, istenilen deşarj standartlarını sağlayamayan aktif çamur proseslerinin olduğu bilinmektedir. Aktif çamur kullanılan mevcut arıtma tesislerinde, havalandırma havuzuna hesaplanan miktarda sentetik taşıyıcı malzeme ilavesi, küçük mekanik değişiklikler ve çamur geri devrinin iptal edilmesiyle hareketli yatak biyofilm reaktörler oluşturulabilir ve istenilen organik madde giderimi ve tank ilavesi olmadan nitrifikasyon elde edilebilir. Aynı zamanda yeni kurulan tesislerde ise daha düşük alan ihtiyacı ile ekonomik çözümlere gidilebilmektedir.

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında, tesis iyileştirilmesinde HYBR kullanılarak başarılı sonuçların elde edildiği daha önceki çalışmalarda rapor edilmiştir. Farklı hidrolik ve organik yükler altında sistemin performansının incelendiği bu çalışmada;

- ✓ Artan hidrolik alıkonma süresinde nitrifikasyonun arttığı,
- ✓ Artan organik yükleme ile KOİ gideriminin azaldığı, sentetik taşıyıcı malzemeler üzerinde bağlı biyokütle miktarının arttığı,
- ✓ Çamur oluşum miktarının klasik aktif çamur proseslerine kıyasla daha az olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü Proje No: 2004/085 ile desteklenmiştir. Yazarlar, Kaldnes Miljøteknologi AS firmasına sentetik taşıyıcı malzemelerin temininden dolayı teşekkür eder. Bu makale Arş. Gör. Ahmet Aygün'ün Yüksek Lisans Tezinden hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Andreottola, G., Foladori, P., Ragazi, M.** (2000), Upgrading of a small wastewater treatment plant in a cold climate region using a moving bed biofilm reactor (MBBR) system. *Water Science and Technology*, **41**,1, 177-185.
- Andreottola, G., Foladori, P., Ragazi, M., Villa, R.** (2002), Dairy wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor. *Water Science and Technology*, **45**, **12**, 321-328.
- Andreottola, G., Foladori, P., Gatti, G., Nardelli, P., Pettena, M., Ragazzi, M.** (2003), Upgrading of a small overloaded activated sludge plant using a MBBR system. *Journal of Env. Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, **A38**, **10**, 2317–2328.
- APHA, AWWA, WEF** (2005), *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 20th edition. Washington, DC, USA
- Aspegren, H., Nyberg, U., Andersson, B., Gotthardsson, S., Jansen, J.** (1998), Post denitrification in a moving bed biofilm reactor process. *Water Science and Technology*, **38**, **1**, 31-38.
- Broch-Due, A., Andersen, R., Opheim, B.** (1997), Treatment of integrated newsprint mill wastewater in moving bed biofilm reactors. *Water Science and Technology*, **35**, 2-3, 173-180.
- Dalientoft, E., Thulin, P.**, (1997) The Use Of Kaldnes suspended carrier process in treatment of wastewaters from the forest industry. *Water Science and Technology* **35**, 2-3, 123-130
- Daude, D., Stephenson, T.** (2003), Moving bed biofilm reactors: A small-scale treatment solution. *Water Science and Technology*, **48**, 11-12, 251-257.
- Ertugrul, T., Berktaş, A., Nas, B.**, (2006), Influence of Salt and Cr(VI) Shock Loadings on Oxygen Utilization and COD Removal in SBR, *Environmental Engineering Science*, **23**, **6**, 1055-1064.
- Guarino, C. F., Nelson, M. D., Lozanoff, M., Wilson, T. E.** (1980), Upgrading activated sludge plants using rotary biological contactor. *Water Pollution Control*, **79**, 255-268.
- Hem, J. L., Rusten, B., Ødegaard, H.** (1994), Nitrification in a moving bed biofilm reactor. *Water Research*, **28**, **6**, 1425-1433.
- Jahren, S.J., Rintala, J.A., Ødegaard, H.** (2002), Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions. *Water Research*, **36**, 1067-1075.
- Kulikowska, D., Klimiuk, E., Drzewicki, A.** (2007), BOD₅ and COD removal and sludge production in SBR working with or without anoxic phase. *Bioresource Technology*, **98**, **7**, 1426-1432.
- Maurer, M., Fux, C., Graff, M., Siegrist, H.** (2001), Moving-bed biological treatment (MBBT) of municipal wastewater: denitrification. *Water Science and Technology*, **43**, **11**, 337-344.
- Metcalf and Eddy** (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Fourth Edition, Mc Graw Hill, New York.

- Morgenroth, E., Kommedal, R., Harremoes, P.** (2002), Processes and modelling of hydrolysis of particulate organic matter in aerobic wastewater treatment—a review, *Water Science and Technology*, **45**, 6, 25–40.
- Plattes, M., Henry, E., Schosseler, P.M., Weidenhaupt, A.** (2006). Modeling and dynamic simulation of a moving bed bioreactor for the treatment of municipal wastewater. *Biochemical Engineering Journal*, **32**, 61-68
- Rusten, B., Ødegaard, H., Lundar, A.** (1992), Treatment of dairy wastewater in a novel moving bed biofilm reactor. *Water Science and Technology*, **26**, 3-4, 703-711.
- Rusten, B., Siljudalen, J.G., Nordeidet, B.,** (1994). Upgrading to nitrogen removal with KMT moving-bed biofilm process. *Water Science and Technology*, **29**, 12, 185-195.
- Rusten, B., Hem, L.J., Ødegaard, H.** (1995), Nitrification of municipal wastewater in moving-bed biofilm reactors. *Water Environmental Research*, **67**, 1, 75-86.
- Rusten, B., Siljudalen, J.G., Strand, H.** (1996), Upgrading of a biological-chemical treatment plant for cheese factory wastewater. *Water Science and Technology*, **34**, 11, 41-49.
- Rusten, B., Hellstrom, B.G., Hellstrom, F., Sehested, O., Skjelfoss, E., Svendsen, B.** (2000), Pilot testing and preliminary design of moving bed biofilm reactors for nitrogen removal at the FREVAR wastewater treatment plant. *Water Science and Technology*, **41**, 4-5, 13-20.
- Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., Lygren, E.** (2006), Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering*, **34**, 3, 322-331.
- Ødegaard, H., Rusten, B., Badin, H.** (1993), Small wastewater treatment plants based on moving bed biofilm reactors. *Water Science and Technology*, **28**, 10, 351-359.
- Ødegaard, H., Rusten, B., Westrum, T.** (1994), A new moving bed biofilm reactor- applications and results. *Water Science and Technology*, **29**, 10-11, 157-165.
- Ødegaard, H.** (2000), Advanced compact wastewater treatment based on coagulation and moving bed biofilm process. *Water Science and Technology*, **42**, 12, 33-48.
- Orantes, J.C., González-Martinez, S.** (2002), A new low-cost biofilm carrier for the treatment of municipal wastewater in a moving bed reactor. 5th specialized conference on small water and wastewater treatment systems, Istanbul-Turkey, 863-870.
- Sriwiriyarat T.** (1999), Computer program development for the design of IFAS wastewater treatment process. Ms Thesis Virginia Tech., Blacksburg.
- Welander, U., Henrysson, T., Welander, T.** (1997). Nitrification of landfill leachate using suspended-carrier biofilm technology. *Water Science and Technology*, **31**, 9, 2351-2355.
- Welander, U., Mattiasson, B.** (2003). Denitrification at low temperatures using a suspended carrier biofilm process. *Water Research*, **37**, 2394-2398.